

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski studij Nutricionizam

Kristina Crnko-Kovač

7173/N

ODREĐIVANJE GLIKEMIJSKOG INDEKSA BEZGLUTENSKOG KRUHA
ZAVRŠNI RAD

Predmet: Osnove prehrambenih tehnologija

Mentor: izv. prof. dr. sc. Dubravka Novotni

Zagreb, 2018.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Preddiplomski sveučilišni studij Nutricionizam

Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo
Laboratorij za kemiju i tehnologiju žitarica

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Određivanje glikemijskog indeksa bezglutenskog kruha

Kristina Crnko-Kovač, 0058208070

Sažetak:

Glikemijski indeks je mjera kojom se klasificira hrana u odnosu na razinu postprandijalne glukoze u krvi, u usporedbi s referentnom hranom. Bezglutenski kruh je namijenjen oboljelima od celijakije. Kao posljedica upotrebe velike količine škroba u recepturama za bezglutenski kruh, njegov glikemijski indeks, kao i glikemijsko opterećenje, često je visok. Visoki glikemijski indeks (>70) hrane predstavlja problem ljudima koji boluju od šećerne bolesti, a koja se često javlja kod oboljelih od celijakije. Cilj ovog rada bio je *in vivo* odrediti glikemijski indeks bezglutenskog kruha od heljadinog, prosenog i bučinog brašna. Prema izmjerenim podacima porasta glukoze u krvi nakon konzumacije bezglutenskog kruha te otopine glukoze u vodi, izračunata je vrijednost glikemijskog indeksa kruha uz upotrebu intermedijarne površine ispod krivulje. Bezglutenski kruh ima srednji glikemijski indeks 68 ± 5 (srednja vrijednost \pm SEM), kao i srednje glikemijsko opterećenje 17 ± 1 (srednja vrijednost \pm SEM).

Ključne riječi: bezglutenski kruh, glikemijski indeks, glikemijsko opterećenje, *in vivo*, metodologija

Rad sadrži: 30 stranica, 6 slika, 3 tablice, 62 literaturna navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici i Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: izv. prof. dr. sc. Dubravka Novotni

Pomoć pri izradi: dr. sc. Bojana Voučko

Datum obrane: 09.07.2018.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Bachelor thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
University undergraduate study Nutrition

Department of Food Process Engineering
Laboratory for Cereal Chemistry and Technology

Scientific area: Biotechnical Sciences
Scientific field: Food Technology

Determination of the glycemic index of gluten-free bread

Kristina Crnko-Kovač, 0058208070

Abstract:

Glycemic index (GI) is a measurement that classifies food depending on their level of postprandial glucose compared with a reference food. Gluten-free bread is intended for people with celiac disease. Because of using a large amount of starch in recipes for gluten-free bread, its GI is often high (>70) as well as its glycemic load (GL). This creates an issue for people with both celiac disease and diabetes. The aim of this paper was to *in vivo* determine GI of a gluten-free bread made from buckwheat, millet and pumpkin seed flour. According to the measured data of the rise in blood glucose levels after the consumption of the gluten-free bread and the glucose solution in water, the value of the GI of the bread was calculated using the intermediate surface below the curve. The obtained GI of the gluten-free bread was 68 ± 5 , while GL was 17 ± 1 (medium GI and GL).

Keywords: gluten-free bread, glycemic index, glycemic load, *in vivo*, methodology

Thesis contains: 30 pages, 6 figures, 3 tables, 62 references

Original in: Croatian

Thesis is in printed and electronic form deposited in the library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: Dubravka Novotni, PhD, Associate Professor

Technical support and assistance: PhD. Bojana Voučko

Defence date: 09.07.2018.

UVOD	1
TEORIJSKI DIO	2
Glikemijski indeks	2
Status glikemijskog indeksa u svijetu	4
Glikemijsko opterećenje	6
Bezglutenski kruh	7
Mjerenje glikemijskog indeksa	8
Utjecaj fiziološkog statusa ispitanika na rezultate mjerenja glikemijskog indeksa	8
Broj ispitanika potreban za ispitivanje	10
Referentna namirnica	10
Probavljivi i neprobavljivi ugljikohidrati	11
Utjecaj svojstava ispitivane namirnice te konzumacije pića na glikemijski indeks	11
Uzimanje uzoraka krvi	12
Način mjerenja koncentracije glukoze u krvi	13
Glikemijski indeks miješanih obroka	13
Inzulinski indeks	13
<i>In vitro</i> metode za mjerenje glikemijskog indeksa	14
MATERIJALI I METODE	15
Ispitanici	15
Ispitivana namirnica	15
Referentna namirnica	16
Uzimanje uzoraka krvi	16
Izračun glikemijskog indeksa	16
REZULTATI I RASPRAVA	18
ZAKLJUČCI	25
POPIS LITERATURE	26

UVOD

Početak sistematizacije hrane na temelju glikemijskog odgovora seže do Otta i Niklasa koji su 1980. godine, na temelju testiranja pojedinih namirnica, podržali konzumaciju hrane koja ne izaziva snažan glikemijski odgovor u dijabetičara zbog stabilizacije glukoze u krvi ¹. Upotrebom glikemijskog indeksa klasificira se hrana bogata ugljikohidratima na temelju njenog utjecaja na postprandijalnu razinu glukoze u krvi ².

Glikemijski indeks se može odrediti većim brojem metoda koje se mogu podijeliti na one *in vivo* i *in vitro*. *In vivo* metoda se smatra preciznijom i mjerodavnom u određivanju glikemijskog indeksa hrane ²¹. Način provođenja *in vivo* mjerenja glikemijskog indeksa uvelike varira. Razlike su u odabiru referentne hrane, broja ispitanika, te samog načina mjerenja postprandijalne razine glukoze u krvi, kao i izračuna konačne vrijednosti glikemijskog indeksa. Upravo zbog potencijalnih zdravstvenih dobrobiti prehrane s niskim glikemijskim indeksom povećan je interes za mjerenje glikemijskog odgovora i od akademskih i od komercijalnih laboratorija ³.

Znanstvenici sa Sveučilišta Harvard 1997. godine stvorili su koncept glikemijskog opterećenja. Za razliku od glikemijskog indeksa, glikemijsko opterećenje uzima u obzir veličinu porcije određene hrane. Dakle, glikemijsko opterećenje uobičajene porcije određene hrane uključuje količinu probavljivih ugljikohidrata u toj porciji te glikemijski indeks te hrane ²⁵.

Bezglutenski kruh namijenjen je osobama koje boluju od celijakije. Celijakija (glutenska enteropatija) je kronična, autoimuna bolest koja se može pojaviti u genetički predisponiranim ljudima. Konzumacija glutena u oboljelih od celijakije izaziva oštećenje sluznice tankog crijeva te može uzrokovati ozbiljne dugoročne zdravstvene posljedice ⁴⁸. Šećerna bolest često se pojavljuje uz celijakiju. Ljudi koji boluju od tih dviju bolesti moraju provoditi strogu bezglutensku dijetu te paziti na koncentraciju glukoze u krvi. Bezglutenski proizvodi poput bezglutenskog kruha često imaju visoki glikemijski indeks koji proizlazi iz visoke razine procesiranosti pri proizvodnji, a i činjenici da se bezglutenski kruhovi najčešće rade od kombinacije nativnog i modificiranog škroba uz različite hidrokoloidne ⁵¹.

Cilj ovog rada bio je odrediti glikemijski indeks bezglutenskog kruha proizvedenog od cjelovitog prosenog, heljadinog i brašna bučine pogače, koristeći *in vivo* metodu, koji bi odgovarao ljudima koji istovremeno boluju i od celijakije i od šećerne bolesti. 11 zdravih ispitanika konzumiralo je onu količinu bezglutenskog kruha koja sadrži 25 g probavljivih ugljikohidrata. Izračunat je glikemijski indeks te glikemijsko opterećenje bezglutenskog kruha.

TEORIJSKI DIO

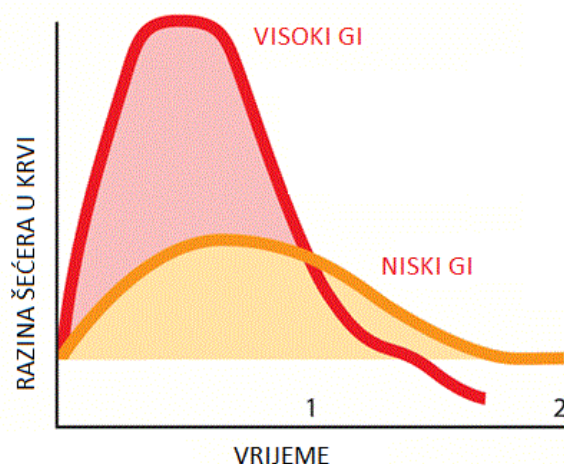
Glikemijski indeks

Glikemijski indeks (GI) sustav je klasifikacije hrane na temelju postprandijalne razine i brzine podizanja glukoze u krvi. Glikemijski indeks kvantificira glikemijski odgovor na različite vrste ugljikohidrata ³⁰. Taj koncept prvi je primijenio dr. Jenkins 1981. godine kako bi pomogao ljudima oboljelima od šećerne bolesti u kontroliranju koncentracije glukoze u krvi te smanjio pojavu dugoročnih posljedica šećerne bolesti. On je također primijetio da glikemijski odgovor ne ovisi samo o količini i primarnoj strukturi konzumiranog ugljikohidrata, već da druge komponente hrane poput prehrambenih vlakana, te sami oblik hrane utječu na koncentraciju i brzinu apsorbirane glukoze ². Moguće vrijednosti glikemijskog indeksa su od 0 do 100, pri čemu 100 predstavlja vrijednost čiste glukoze. Glikemijski indeks se najčešće koristi za podjelu hrane u 3 kategorije, onu s: visokim (>70), srednjim (56-69) te niskim (<55) vrijednostima ⁴. Definira se kao površina ispod krivulje koncentracije glukoze u krvi mjerene tijekom 2 sata nakon konzumacije porcije testirane hrane. Izražava se kao postotak od glikemijskog odgovora izazvanog konzumacijom porcije referentne hrane s 50 g ugljikohidrata ¹². Najčešće se primjenjuje za hranu u kojoj više od 80% energetskog udjela pripada ugljikohidratima te je primaran izvor ugljikohidrata u prehrani (riža, krumpir, kruh) ³, a ne izražava se za hranu koja sadrži manje od 10% ugljikohidrata.

Prema podacima iz literature, u mjerenju se većinom koristi 50 g probavljivih ugljikohidrata koji se mogu različitom brzinom probaviti i apsorbirati u tankom crijevu ovisno o namirnici. Hrana niskog glikemijskog indeksa probavlja se i apsorbira sporije te ostvaraje nizak glikemijski odgovor, a hrana visokog glikemijskog indeksa probavlja se i apsorbira brzo te ostvaraju visok glikemijski odgovor ³. Glikemijski odgovor je promjena koncentracije postprandijalne glukoze ovisno o ugljikohidratnoj hrani koja je konzumirana. Dakle, glikemijski je indeks konceptualno glikemijski odgovor izazvan porcijom hrane koja sadržava 50 ili 25 g probavljivih ugljikohidrata ⁴.

Iako se koncept glikemijskog indeksa može činiti jednostavnim, komplicirano je kontrolirati brojne faktore koji utječu na glikemijski odgovor, a time i na glikemijski indeks. Često namirnice s niskim glikemijskim indeksom pripadaju voću, povrću ili cjelovitim žitaricama dok namirnice s visokim pripadaju visoko procesiranoj hrani poput bijelog kruha ili kukuruznih pahuljica ⁷. Glikemijski indeks dijeli hranu na temelju brzine podizanja razine glukoze u krvi, dakle hrana s visokim glikemijskim indeksom naglo podigne razinu glukoze što dovodi do povećanog lučenja inzulina dok hrana s niskim glikemijskim indeksom čini upravo suprotno (Slika 1). To ovisi o brzini apsorpcije ugljikohidrata u tankome crijevu. U tankome crijevu odvija se većina hidrolize ugljikohidrata od strane amilaza te se većina produkata

probave apsorbira preko gastrointestinalne membrane u krv. Amilaze su enzimi koji kataliziraju hidrolizu škroba, a nalaze se i u slini i u probavnim sokovima gušterače. Jedan od razloga te apsorpcije je neutralni pH tankog crijeva za razliku od kiselog pH u mediju želuca koji denaturira amilaze ¹⁷. Ta apsorpcija ovisi o sastavu namirnice, pripremi same namirnice, samom žvakanju i gutanju namirnice, sadržaju prehrambenih vlakana, terciarnoj strukturi samih ugljikohidrata, kiselosti namirnice itd. ³⁰. Tako primjerice, duže kuhanje namirnice može povisiti glikemijski indeks jer se time razgrađuju ugljikohidrati (obrada hrane često poremeti same stijenke stanica) što omogućuje njihov brži prolazak kroz tijelo, a time i bržu apsorpciju, no samim hlađenjem može se sniziti glikemijski indeks namirnice (primjerice, hlađenjem krumpira retrogradira škrob i postaje otporan na probavu) ⁷. Usta su prvi dio probavnog sustava. Njihove glavne funkcije su usitnjavanje (uloga zubi), omekšavanje (uloga jezika i sline) te početak razgradnje hrane (uloga žlijezdi slinovnica). Pritom duže žvakanje hrane rezultira smanjenjem čestica hrane što olakšava njihovu apsorpciju ³⁰. Još jedan od utjecaja gastrointestinalnog sustava na glikemijski indeks hrane jest pražnjenje želuca, pa se tako hrana nižeg glikemijskog indeksa zadržava dulje u želucu od one višeg glikemijskog indeksa. Također, što je hrana kiselija, to će njen glikemijski indeks biti niži (poput kiselih krastavaca, hrane koja sadrži sok od limuna, kruha od kiselog tijesta u usporedbi s bijelim kruhom) ⁷.



Slika 1. Grafički prikaz podizanja koncentracije glukoze u krvi (mmol) tijekom vremena (sati) nakon konzumacije hrane visokog i niskog glikemijskog indeksa ⁴⁵.

Glikemijski indeks bit će veći što se hrana bogata ugljikohidratima brže apsorbira pa zato je bitan utjecaj na glikemijski indeks sama osjetljivost hrane na enzimsku razgradnju i probavu. Također, činjenica je da se ugljikohidrati kratkoga lanca veoma brzo apsorbiraju što povisuje njihovi glikemijski indeks, no ipak prisutnost šećera koji nije glukoza u strukturi proporcionalno smanjuje glikemijski indeks. Primjer toga je disaharid poput laktoze, koja u svojoj strukturi ima galaktozu uz glukozu što čini njen glikemijski

indeks nižim od maltoze, koja sadrži dvije molekule glukoze ³⁰. Sličan utjecaj na glikemijski indeks ima udio amiloze u odnosu na amilopektin u strukturi škroba. Škrob se sastoji od monomera glukoze povezanih u polimerne lance amiloze i amilopektina. Amilopektin je razgranati polimer koji uz α -1,4 glikozidnu vezu sadrži i β -1,4 glikozidnu vezu na mjestima grananja, dok je amiloza nerazgranati polimer u kojemu su jedinice glukoze povezane samo α -1,4 glikozidnim vezama. Upravo ta nerazgranatost i kompaktnost čini amilozu manje dostupnom razgradnji od strane amilaza za razliku od brzo apsorbiranog i probavljenog amilopektina. Zaključno, veći udio amiloze snižava glikemijski indeks dok veći udio amilopektina povećava glikemijski indeks namirnice ³. Također, sadržaj određenih namirnica može odstupati ovisno o zemlji podrijetla. Primjerice, glikemijski indeks krumpira značajno varira ovisno o zemlji uzgoja, regiji kultivacije, sorti i zrelosti ¹⁷. Tako je konzultacija iz 1998. od strane Organizacije za hranu i poljoprivredu (engl. *Food and Drug Organization*, FAO) i Svjetske zdravstvene organizacije (engl. *World Health Organization*, WHO) zaključila da se podaci o glikemijskim odgovorima trebaju nadopuniti s vrijednostima za lokalna jela i namirnice zbog potencijalno značajnog utjecaja kuhanja i varijabilnosti hrane na glikemijski indeks.

Status glikemijskog indeksa u svijetu

Trenutne internacionalne prehrambene preporuke ujednačene su po pitanju važnosti voća, povrća, mahunarki i cjelovitih žitarica u prehrani, no postoje razlike u naglašavanju prehrane s visokim unosom ugljikohidrata niskog glikemijskog indeksa. Iako prvobitno namijenjen za ljude oboljele od šećerne bolesti, danas mnoge organizacije podupiru prehranu u kojoj su većinski zastupljeni ugljikohidrati niskog glikemijskog indeksa ⁵, dok je u zemljama poput Australije, Francuske i Švedske koncept glikemijskog indeksa dio prehrambenih smjernica i preporučen od strane zdravstvenih djelatnika ³. No koncept glikemijskog indeksa nije preporučen od strane većih profesionalnih udruženja u SAD-u poput Američkog dijabetičkog udruženja (engl. *American Diabetes Association*, ADA) zbog nedosljednosti rezultata istraživanja, teškoća pri mjerenju, utjecaja miješanih obroka i praktičnosti konzumiranja prehrane s niskim glikemijskim indeksom ¹⁷. Ipak, smjernice o unosu ugljikohidrata od strane FAO/WHO preporučaju unos ugljikohidrata niskog glikemijskog indeksa kako kod pretili ljudi (te onih koji boluju od hiperlipidemije) tako i kod zdravih ljudi. Također, upravo te smjernice s konzultacije održane 1998. godine od strane FAO/WHO, navode da je koncept glikemijskog indeksa koristan alat za selekciju najprikladnije hrane bogate ugljikohidratima za održavanje zdravlja i prevencije pojedinih bolesti. Ipak se navodi da koncept glikemijskog indeksa ima svoja ograničenja koja se moraju uzeti u obzir. Glikemijski indeks uobičajeno ne predstavlja mjerilo za nutritivnu gustoću namirnice jer, na primjer, sladoled ima niski glikemijski indeks čemu doprinosi visoki udio masti. Zato se napominje da se, pri izboru hrane za

konzumaciju, glikemijski indeks treba koristiti za usporedbu hrane iz iste skupine namirnica ⁵. Koncept glikemijskog indeksa uključen je u nacionalne prehrambene smjernice u Australiji. Te smjernice preporučuju konzumaciju cjelovitih žitarica, koje općenito sadrže više dijetalnih vlakana, i žitarice s niskim glikemijskim indeksom. Također, u Australiji postoje različite oznake na proizvodima koje govore o glikemijskom indeksu namirnica te, iako se ne smatraju zdravstvenim tvrdnjama, pružaju korisne informacije kupcima. Da bi proizvod bio u mogućnosti dobiti takvu oznaku ili simbol, mora sadržavati najmanje 10 g ugljikohidrata po serviranju, glikemijski indeks mora biti određen od strane odobrenog laboratorija sa standardnom *in vivo* metodom te mora imati odgovarajući nutritivni sadržaj koji ispunjava kriterije za određenu kategoriju hrane ¹⁷. U Švedskoj, 15 proizvoda (uključujući kruh i žitne pahuljice) dobilo je dozvolu za korištenje 'niski glikemijski indeks' oznake od strane Švedske udruge nutricionista (engl. *Sweden Nutrition Foundation, SNF*) ⁴⁵. Švedska oznaka 'niski glikemijski indeks' pripada oznakama koje su specifične za određeni proizvod te označuje fiziološku tvrdnju. Kako bi proizvod dobio dopuštenje za korištenje te oznake, glikemijski indeks mora biti izmjeren u 2 neovisna mjerenja koja moraju dobiti vrijednost glikemijskog indeksa nižu od 55, a pritom koristeći glukozu kao referentnu namirnicu ⁴⁵. U Ujedinjenom Kraljevstvu mnogi poznati supermarketi kreirali su vlastite oznake za glikemijski indeks i glikemijsko opterećenje ¹⁷. U Hrvatskoj, prehrambene smjernice za odrasle iz 2002. ne spominju koncept glikemijskog indeksa, ali naglašavaju važnost konzumacije proizvoda od cjelovitog zrna zbog značajne količine vitamina, minerala, oligoelemenata i prehrambenih vlakana. Također spominju da konzumacija šećera pogoduje nastanku karijesa te navode da sam šećer valja što manje trošiti ⁵³. Ipak, u Popisu dijeta koje se primjenjuju za prehranu bolesnika u bolnicama (Narodne novine, 2007. godina) spominje se glikemijski indeks u mediteranskoj dijeti te u dijeti za šećerne bolesnike. U obje dijete preporučuje se unositi namirnice niskog glikemijskog indeksa ⁵⁴.

Iako na epidemiju pretilosti najviše utječe previsoki unos hrane i premalo tjelesne aktivnosti, pregled literature prikazuje utjecaj prehrane bogate ugljikohidratima s visokim ili niskim glikemijskim indeksom na razvoj pretilosti. U preglednoj studiji iz 2002. godine autori su analizirali studije koje povezuje glikemijski indeks sa pretilošću. Autori su zaključili da se konzumacija obroka niskog glikemijskog indeksa može povezati sa smanjenim kalorijskim unosom tijekom dana, što može koristiti ljudima s povećanom tjelesnom masom pri smanjenju tjelesne mase. Smanjenje glikemijskog indeksa u prehrani povisilo je razine kolecistokinina što je dovelo do povećanog osjećaja sitosti sljedećih 180 minuta ⁵⁵. Autori su to objasnili sporijim prolaženjem hrane niskog glikemijskog indeksa kroz gastrointestinalni sustav što produžuje signale kolecistokinina i glukagonu sličnog peptida 1 koji su djelomično odgovorni za slanje signala sitosti mozgu. Također, nagli rast razine glukoze nakon konzumacije hrane visokog glikemijskog indeksa može rezultirati postprandijalnom hiperglikemijom, za kojom potencijalno slijedi hipoglikemija, a takav glikemijski odgovor može biti odgovoran za povećanu glad ⁷. Uz gubitak tjelesne mase, koncept

glikemijskog indeksa danas se najviše upotrebljava u održavanju glikemijske kontrole kod dijabetičara pa im tablice s glikemijskim indeksom mnogobrojnih namirnica olakšavaju izbor hrane. Također, prehrana bogata ugljikohidratima visokog glikemijskog indeksa povezuje se sa povećanim rizikom od šećerne bolesti neovisne o inzulinu što može usmjeriti koncept glikemijskog indeksa u svrhu prevencije šećerne bolesti ²⁵. Kohortna studija iz 1997. godine provedena na 65 173 žena sugerira da prehrana s visokim glikemijskim indeksom i niskim udjelom vlakana može povećati rizik od šećerne bolesti u žena ⁶. Također, visoki glikemijski indeks povezuje se s rizikom od raka prostate, a visoko glikemijsko opterećenje s rizikom od kolorektalnog raka te raka gušterače u studiji (2013. godine objavljena) koja je proučavala učestalost pojedinih vrsta karcinoma u razdoblju između 1994. i 1997. godine ⁸. U meta-analizi iz 2008. godine, pronađeno je da prehrana s niskim glikemijskim indeksom, uspoređujući s prehranom visokog glikemijskog indeksa, može poboljšati glikemijsku kontrolu što bi dovelo do smanjenja razine inzulina i upalnih odgovora uz smanjivanje rizika od nekoliko kroničnih bolesti, uključujući rak (kod dijabetesa i srčanih bolesti učinak smanjenja rizika usporediv je s učinkom visokog unosa vlakana) ⁹. No nisu svi znanstvenici pronašli takve korelacije ^{10,11}, što ostavlja prostora za buduća istraživanja.

Glikemijsko opterećenje

Zato što glikemijski indeks često ne odražava uobičajene porcije hrane, uveden je novi koncept nazvan glikemijsko opterećenje (GL). Glikemijsko opterećenje uključuje glikemijski indeks i veličinu porcije [$GL = (GI * \text{količina ugljikohidrata po serviranju}) / 100$] te se vrijednosti glikemijskog opterećenja manje od 10 smatraju niskima, između 11 i 19 srednjima, a većim od 20 visokima ¹⁶. Tako glikemijsko opterećenje može dati realističniji prikaz povećanja postprandijalne glukoze u prehrani. Na primjer, iako su kokice visokog glikemijskog indeksa (72) zbog svoje malog udjela ugljikohidrata u porciji (11 g u 1 i 1/2 šalici), njihovo glikemijsko opterećenje iznosi 8 što znači da kokice imaju nisko glikemijsko opterećenje s obzirom na konzumiranu porciju ⁷. No, zato što glikemijsko opterećenje ovisi o glikemijskom indeksu i porciji hrane, da bi osoba imala prehranu s niskim glikemijskim opterećenjem mora utjecati na jedan od tih faktora ²⁰. Dakle osoba će ili konzumirati hranu s niskim glikemijskim indeksom ili će jesti manje porcije hrane bogate ugljikohidratima. Moguće je da iz tog razloga, u epidemiološkim studijama glikemijski indeks često dosljednije korelira s negativnim zdravstvenim posljedicama od glikemijskog opterećenja ²². U preglednom znanstvenom radu iz 2007. godine, autorica je zaključila da konzumacija male porcije hrane s visokim glikemijskim indeksom (dakle niže glikemijsko opterećenje) lošije utječe na razinu postprandijalne glukoze u krvi ²¹. U prospektivnoj kohortnoj studiji iz 2002. godine provedenoj u 5 europskih zemalja, glikemijski indeks nije povezan s promjenom tjelesne mase, no pozitivno korelira

sa smanjenjem opsega struka. U istoj studiji, glikemijsko opterećenje nije koreliralo ni s tjelesnom masom ni s opsegom struka ²². Unatoč tome, autor iz preglednog znanstvenog rada iz 2003. godine predložio je da prehrana ili sa niskim glikemijskim indeksom ili sa niskim glikemijskim opterećenjem može potaknuti gubitak tjelesne mase ili prevenirati dobivanje na tjelesnoj masi ⁵⁶.

Bezglutenski kruh

Bezglutenski proizvodi prvenstveno su namijenjeni osobama oboljelim od celijakije. Celijakija je kronična bolest gastrointestinalnog sustava koju karakterizira atrofija sluznice crijeva koja nastaje kao posljedica prisutnosti glutena u probavnom sustavu. Neki od simptoma koji se mogu javiti u celijakije su mučnina, povraćanje, umor, abdominalna bol, anemija, dijareja, steatoreja, konstipacija te usporavanje rasta kod djece ⁴⁹. To je autoimuna bolest u kojoj osobe s genetičkom predispozicijom pokazuju konstantnu intoleranciju na gluten, odnosno gliadin i određene prolamine u pšenici, ražu i ječmu ⁴⁸. Žitarice koje ne sadrže gluten su kukuruz, riža, krumpir, heljda i proso dok zob često može biti kontaminirana glutenom. Gluten tijestu osigurava kohezivna, elastična i viskozna svojstva koja značajno utječu na svojstva tijesta i kruha ⁵¹. Jedina terapija za ljude oboljele od celijakije je stroga doživotna prehrana bez glutena. Takva bi prehrana trebala rezultirati oporavkom sluznice crijeva i poboljšanjem u simptomima celijakije. Oporavak je najčešće brži u djece, a potpun oporavak crijeva može trajati i dulje od 6 mjeseci u starije populacije ⁴⁸. Ako osoba sa celijakijom nastavi konzumirati gluten to rezultira uzastopnim oštećenjima sluznice crijeva što dovodi do smanjene apsorpcije nutrijenata te povećava rizik za brojne zdravstvene teškoće poput prehrambenih deficita, pobačaja, neplodnosti, osteoporoze, usporavanja rasta kod djece i gastrointestinalnih tumora. Na tržištu možemo razlikovati proizvode „bez glutena“ koji sadrže do 20 mg/kg glutena (Slika 2) i proizvode sa „vrlo malim sadržajem glutena“ koji sadrže do 100 mg/kg glutena, što se bazira na standardu Codex Alimentarius. Od celijakije boluje oko 1% stanovništva, a prema Europskom udruženju asocijacija udruga celijakičara (engl. *Association of European Coeliac Societies*, AOECS), više od 7 milijuna ljudi u Europi oboljelo je od celijakije dok je samo otprilike njih 25% dijagnosticirano ⁵⁰.

U proizvodnji bezglutenskih proizvoda često se upotrebljava rižino ili kukuruzno brašno kao bezglutenska baza. Također, većina bezglutenskih proizvoda sadrži nativne ili modificirane škrobove uz hidrokoloide (poput metilceluloze, karboksimetilceluloze, psyllium gume, guar gume, ksantan gume) kako bi dobili odgovarajuću strukturu i teksturu proizvoda (što sličniji proizvodima sa glutenom) ⁵¹. Nažalost, postoji mnogo bezglutenskih proizvoda na tržištu koju su visoko procesirani, jako zašćerani i niske kvalitete. To rezultira visokim glikemijskim indeksom većine bezglutenskih kruhova.

Visoki glikemijski indeks predstavlja problem ljudima koji boluju od šećerne bolesti.

Takav proizvod, koji se ne sadrži gluten, a ima niži glikemijski indeks, koristio bi ljudima oboljelima i od celijakije i šećerne bolesti. Šećerna bolest jedna je od najčešćih endokrinih bolesti među svim populacijama te među svim dobnim skupinama. Šećerna bolest uključuje dijabetes tipa 1 i tipa 2. Dijabetes tipa 1 karakterizira autoimuno uništavanje β -stanica Langerhansovih otočića što uzrokuje potpuni nedostatak inzulina te obavezno zahtjeva inzulinsku terapiju. Upravo se dijabetes tipa 1 često povezuje s celijakijom ⁴⁸. Na razvoj celijakije uključena su 3 glavna faktora: imunološki sustav (autoimuna je bolest), okoliš (konzumacija glutena) i genetika. Otprilike 90% ljudi oboljelih od celijakije ima određeni gen (B8-Dr3-DQ2 haplotip) koji je povezan sa razvojem drugih autoimunih bolesti poput dijabetesa tipa 1 ⁴⁸. Ipak, rijetki proizvodi na tržištu imaju niski glikemijski indeks i ne sadrže gluten (do 20 mg/kg). Primjer toga možemo vidjeti u Foster-Powell tablici iz 2002., gdje jedino nerezani bezglutenski kruh obogaćen dijetalnim vlaknima ima srednji glikemijski indeks od 69, dok ostali bezglutenski kruhovi imaju visoki glikemijski indeks. Izuzev bijelog kruha, kruhovi većinom imaju srednji (a neki čak i niski) glikemijski indeks u prethodno spomenutoj tablici.

Bezglutenski se proizvodi mogu obogaćivati sa pseudožitaricama (amaranth, kvinoja, heljda) ili brašnom mahunarki (slanutak, grašak, soja) kako bi im se povećala nutritivna gustoća. Pseudožitarice također mogu smanjiti glikemijski indeks što bi odgovaralo ljudima koji istovremeno boluju od celijakije i šećerne bolesti ⁵¹.



Slika 2. Simbol koji označava da određeni proizvod sadrži manje od 20 mg/kg glutena te je udovoljio kriterijima Europskog udruženja asocijacija udruga celijakičara (engl. *Association of European Coeliac Societies*, AOECS) ⁵⁰.

Mjerenje glikemijskog indeksa

Utjecaj fiziološkog statusa ispitanika na rezultate mjerenja glikemijskog indeksa

Glikemijski indeks biološka je mjera što znači da može doći do varijacija u vrijednostima, no odgovarajućom metodologijom moguće je minimizirati takve varijacije ¹².

Ispitanici uključeni u mjerenje glikemijskog indeksa ne smiju imati alergiju ili intoleranciju na glukozu te uzimati lijekove za koje se zna da utječu na toleranciju glukoze (antihiperglikemici, steroidi, inhibitori proteaze, antipsihotici itd.) ¹⁷. Glikemijski odgovor na istu namirnicu može varirati između pojedinaca no i kod određenog pojedinca može doći do odstupanja unutar nekoliko dana mjerenja. Možemo reći da bi najpreciznije vrijednosti glikemijskog indeksa dobili kada bi odstupanja površine ispod krivulja postprandijalne koncentracije glukoze samih ispitanika bila minimalna, a to se može postići ponavljanjem mjerenja glikemijskog odgovora na referentnu hranu ²¹. Primijećene su razlike u vrijednostima glikemijskog indeksa među pojedincima koji boluju od šećerne bolesti, pa se predlaže da se za rutinska mjerenja glikemijskog indeksa koriste zdravi pojedinci ³. Smanjivanje varijacija između ispitanika (poput utjecaja dobi, BMI-ja i dr.) može se postići izražavanjem glikemijskog odgovora testirane hrane nasuprot iste količine standardne referentne hrane (poput 50 ili 25 g glukoze) ¹⁹. Rezultati također pokazuju da etničko podrijetlo ne utječe na različite vrijednosti glikemijskog indeksa kada uspoređujemo bijelce i ne-bijelce (izuzevši vrijednosti glikemijskog indeksa riže što može biti diskutabilno uzevši u obzir često odstupanje glikemijskog indeksa riže u različitim zemljama zbog botaničkih varijacija same riže ²³) ²⁴. Slično tomu, nisu pronađene razlike u rezultatima glikemijskog indeksa između muškaraca i žena ²⁵.

Postoji više aktivnosti koji mogu utjecati na rezultate glikemijskog indeksa poput vježbanja, prehrane prije testiranja, pušenja ili konzumacije alkohola ¹⁷. Udio ugljikohidrata u prehrani dan prije testiranja primjetno utječe na toleranciju glukoze, pri čemu prehrana s niskim udjelom ugljikohidrata smanjuje toleranciju glukoze ²⁶, a večernji obrok prije testiranja koji obiluje dijetalnim vlaknima i ugljikohidratima niskog glikemijskog indeksa može poboljšati toleranciju glukoze u zdravih pojedinaca ²⁷. Također konzumacija alkohola može imati značajan učinak na homeostazu glukoze ²⁸, dok pušenje može utjecati na akutnu inzulinsku rezistenciju ²⁹. Postavlja se i pitanje kako djeluje glikemijski indeks doručka (ili prvog obroka) na glikemijski odgovor ručka (ili drugog obroka). Pronađeno je da ako osoba konzumira obrok niskog glikemijskog indeksa, to smanjuje glikemijski odgovor prilikom drugog obroka (vrijedi i obrnuto, ako je obrok visokog glikemijskog indeksa) te se to objašnjava različitim inzulinskim mehanizmom pri brzom i sporom apsorpiranju ugljikohidrata ³⁰. Tjelesna aktivnost (posebice u dijabetičara tipa 2) poboljšava glikemijsku kontrolu ³¹, te u skladu sa tim, istraživanje koje je proučavalo utjecaj prehrane te aktivnosti ispitanika prije mjerenja glikemijskog indeksa iz 2003. godine je pokazalo da intenzivno vježbanje dan prije testiranja ima tendenciju snižavanja glukoze u krvi u 90-oj minuti ³. Rezultati nerandomiziranog kontroliranog pokusa iz 1996. godine pokazali su da pušenje može akutno pogoršati toleranciju na glukozu te osjetljivost na inzulin što može utjecati na vrijednosti glikemijskog

indeksa ³². No smjernice FAO/WHO iz 1998. godine ne sadržavaju preporuke u vezi ponašanja ispitanika (konzumacije određene hrane, pušenja, vježbanja) prije mjerenja glikemijskog indeksa ⁵. Ipak, ispitanicima se može predložiti da ne puše na dan ispitivanja, pridržavaju se svoje uobičajene prehrane dan prije testiranja (po mogućnosti da njihov večernji obrok prije testiranja bude isti) te izbjegavaju intenzivno vježbanje prije testiranja ³. Isto tako, ispitanicima se daju upute o ne konzumiranju hrane ni pića ujutro (izuzev vode). Predlaže se obaviti ispitivanje ujutro, prije 10 sati, nakon posta od 10-14 sati kako bi se minimizirala odstupanja između pojedinca uzrokovana prijašnjim obrokom ³.

Broj ispitanika potreban za ispitivanje

Poznato je da što više određena studija ima ispitanika to joj se povećava interval pouzdanosti i preciznost same studije, no raste joj i cijena. Pokazalo se da je dovoljno 10 ispitanika u rutinskom mjerenju glikemijskog indeksa, ako cilj studije nije precizna razlika u glikemijskom indeksu između pojedinaca. Mjerenje s 10 ispitanika pruža prihvatljive rezultate, a broj ispitanika morao bi se udvostručiti (čak i utrostručiti) kako bi rezultati bili primjetljivo precizniji ³.

Referentna namirnica

Najčešće su referentne namirnice pri mjerenju glikemijskog indeksa bijeli kruh i otopina glukoze u vodi. Upravo zbog toga poznata internacionalna tablica glikemijskog indeksa i glikemijskog opterećenja Foster-Powell (2002) ima navedene dvije vrijednosti uz namirnicu, jedna vrijednost je dobivena kad je referentna namirnica bila glukoza, a druga kada je to bio bijeli kruh. No veliki broj istraživanja je koristio alternativnu referentnu hranu poput riže, krumpira ili cjelovitog ječmenog kruha ²³. Pozitivna strana upotrebe bijelog kruha kao referentne hrane jest njegova uobičajenost u prehrani no njegov sadržaj može varirati od zemlje do zemlje ovisno o recepturi. Glukoza ne može varirati (GI glukoze je uvijek 100), no zbog velike osmolarnosti glukoze može doći do sporijeg gastričnog pražnjenja što kod nekih ljudi zna izazvati osjećaj mučnine ³³. Otopina glukoze preporučuje se kao referentna namirnica baš zbog svog stalnog sastava, no prihvaća se i korištenje bijelog kruha ako se standardno pripremi te kalibrira u odnosu na glukozu ³. Rezultati glikemijskog indeksa ispitivane hrane bit će precizniji ako se mjerenje glikemijskog indeksa referentne hrane ponovi nekoliko puta. Pokazalo se da bi srednja vrijednost od 3 mjerenja mogla smanjiti varijacije u rezultatima glikemijskog indeksa ¹², a kasnije simulacijske studije pokazale da bi 2 do 3 mjerenje bila prikladna ³. No, to stvara dodatni trošak. Stoga se predlaže da se barem jednom ponove mjerenja glikemijskog indeksa referentne hrane na ispitanicima kako bi se mogle dobiti dvije vrijednosti te njihova aritmetička sredina.

Probavljivi i neprobavljivi ugljikohidrati

Prema smjernicama FAO/WHO iz 1998. godine, pri mjerenju glikemijskog indeksa koristi se porcija hrane koja sadrži 50 g probavljivih ugljikohidrata ⁵. Kada bismo uključivali u porciju od 50 g ugljikohidrata i neprobavljive ugljikohidrate, dobili bismo netočne rezultate. To proizlazi iz različitih učinaka neprobavljivih ugljikohidrata na koncentraciju glukoze u krvi (primjerice, dijetalna vlakna snižavaju glikemijski indeks smanjivanjem brzine apsorpcije ugljikohidrata u tankome crijevu) ^{7, 12}.

Glavna nutricionistička klasifikacija ugljikohidrata dijeli ih na probavljive (koji se apsorbiraju u tankome crijevu) te neprobavljive (prolaze kroz debelo crijevo te služe kao supstrat crijevnoj mikroflori) tj. dijetalna vlakna ¹⁷. Ipak, najčešća je podjela ugljikohidrata na jednostavne i složene, tj. na monosaharide, oligosaharide i polisaharide ⁵. Svi neprobavljivi ugljikohidrati smatraju se dijetalnim vlaknima, uključujući: rezistentne škrobove, neprobavljive oligosaharide (poput inulina i fruktooligosaharida) i šećerne alkohole ¹⁸. Rezistentni škrobovi jako variraju u namirnicama bogatim ugljikohidratima, to čak može biti od 40% do samo nekoliko posto, ovisno o zrelosti hrane te pripremi hrane (rezistentni škrob može se dodati prilikom prerade, a i nastaje retrogradacijom) ¹⁸. Primjerice, zelena banana ima vrlo visok udio rezistentnog škroba dok taj udio pada na gotovo ništa u zreloj banani (zbog toga zrelije banane imaju viši glikemijski indeks od manje zrelih banana). Klasične analitičke metode nisu precizno izmjerile količinu neprobavljivih ugljikohidrata, što je dovelo do nižih razina neprobavljivih ugljikohidrata u hrani čime se postavlja pitanje o relevantnosti internacionalnih tablica glikemijskog indeksa hrane poput Foster-Powellove iz 2002. godine ³. Ipak, velika većina popularne hrane (tako i uvrštene u internacionalne tablice poput prethodno spomenute) ne sadrži značajnu količinu ovih neprobavljivih ugljikohidrata čemu doprinosi i činjenica da samo 0-5% populacije u svim dobnim skupinama (isključujući žene starije od 51 godine) unosi adekvatnu količinu vlakana u svojoj prehrani ¹⁹. Također, danas postoje različite uspješne enzimске metode mjerenja probavljivih i neprobavljivih ugljikohidrata koje simuliraju uvjete u gastrointestinalnom sustavu te se smatra da ovo više ne predstavlja značajan problem u metodologiji glikemijskog indeksa ³.

Utjecaj svojstava ispitivane namirnice te konzumacije pića na glikemijski indeks

Uobičajeno mjerenje glikemijskog indeksa hrane uključuje onaj volumen hrane koji osigurava 50 g probavljivih ugljikohidrata ¹². Kod namirnica niskog ili srednjeg glikemijskog indeksa se često javlja problem što je volumen hrane koji sadrži 50 g probavljivih ugljikohidrata nepraktičan za konzumaciju u određenom vremenu. Testirana namirnica trebala bi se moći pojesti u kratkom vremenu. U takvome

slučaju, da porcija ne bi bila prevelika, sadržaj probavljivih ugljikohidrata korišten za mjerenje glikemijskog indeksa namirnice, može biti 25 g pri čemu treba voditi računa da se isti udio probavljivih ugljikohidrata mora nalaziti i u porciji servirane referentne hrane ¹⁷. Ukoliko je sadržaj probavljivih ugljikohidrata u namirnice manji od 10 g tada se ne može detektirati značajna promjena u glikemijskom odgovoru te se za takvu namirnicu ne određuje njezin glikemijski indeks. Glikemijski indeks obično se mjeri ujutro, nakon cjelonoćnog posta, stoga se uz testirani obrok dobiva i piće. Vrsta pića razlikuje se od studije do studije (voda, kava, čaj i dr.), a s time i volumen pića. Ipak, preporučuje se konzumacija vode i to jedna čaša (250 mL ili određeni volumen koji će se ponoviti pri testiranju i referentne i testirane namirnice), s obzirom na potencijalno upletanje kave i čaja u inzulinsku osjetljivost te njihovo stimulirajuće djelovanje ³. Ako se ipak kao piće odabere kava ili čaj, može se zasladiti ne-nutritivnim sladilom ako ispitanik zatraži ¹⁷. Brzina konzumacije standardno se ograničava na 10-15 minuta (zbog utjecaja različite brzine konzumacije na glikemijski i inzulinski odgovor), a i u tome bi se vremenu trebalo popiti piće.

Uzimanje uzoraka krvi

U smjernicama FAO/WHO iz 1998. godine, dopušta se uzimanje ili venske ili kapilarne krvi ⁵, ali pregledni znanstveni rad iz 2005. godine koji se bavi metodologijom glikemijskog indeksa preferira uzimanje kapilarne krvi ³. Često se uzima kapilarna krv (iz jagodice prsta ili ušne resice) zbog jednostavnosti i relativno neinvazivne metode, a nastoji se izbjegavati uzimanje uzoraka venske krvi zbog varijacija u rezultatima glikemijskog indeksa ¹². Više su puta rezultati pokazali da je glikemijski odgovor slabiji u venskoj plazmi (u venskoj je krvi manja koncentracija glukoze) i podložan većim razlikama u izmjerenoj vrijednosti za jednog ispitanika. Razlog tomu je što cirkulacija krvi prolazi iz arterijske u vensku pomoću kapilara, a tkiva pritom koriste određenu količinu glukoze što rezultira nižim vrijednostima u perifernim venama ³⁴. Ta razlika može biti značajna pogotovo nakon konzumiranja glukoze (dakle postprandijalno), kada se izlučuje inzulin i stimulira apsorpciju te glukoze u tkivima ³⁵. U kapilarnoj krvi razina glukoze može se razlikovati na različitim mjestima, kako razina glukoze raste u krvi, koncentracije glukoze bit će veća u vrhovima prstiju za razliku od kapilarne krvi u podlakticama, bedrima ili abdomenu (a kako koncentracija pada, razina glukoze bit će niža u vrhovima prstiju u usporedbi s podlakticom) ³⁷. Iako bi se, u teoriji, najprecizniji rezultati dobili uzimanjem uzoraka arterijske krvi (jer arterijska krv izravno izlazi iz srca prema tkivima) to se rijetko čini zbog mogućih rizika poput pretjeranog krvarenja, spazma ili oštećenja živaca ^{3, 36}. Ako se u istraživanju mjeri više parametara poput inzulina, potreban je veći volumen krvi (uzimanjem kapilarne krvi iz vrha prsta dobiva se relativno mali volumen), a to je moguće

uzimanjem "arterijsko-venske" krvi (venska krv koja je obogaćena kisikom), no to zahtijeva postavljanje kanile što je nešto kompliciranije ³⁸.

Način mjerenja koncentracije glukoze u krvi

Glukometri su praktični uređaji napravljeni za mjerenje postprandijalnog glikemijskog odgovora. Često su korišteni pri mjerenju koncentracije glukoze u krvi, no korišteni su i pri mjerenju glikemijskog indeksa zbog svoje niske cijene, lakog transporta i jednostavnog korištenja. Uspoređujući s laboratorijskom analizom vrijednosti glikemijskog indeksa, glukometar veoma brzo prikazuje vrijednosti te se često koristi kod ljudi oboljelih od šećerne bolesti ⁵⁹. No, pri mjerenju glikemijskog indeksa glukometrom, pacijenti mjere koncentraciju glukoze u čitavoj krvnoj jedinici, dok se u laboratoriju mjeri koncentracija glukoze u serumu/plazmi. U krvi se nakon uzimanja uzoraka odvija glikoliza (metabolizam glukoze) od strane crvenih i bijelih krvnih stanica što može uzrokovati pad koncentracije glukoze u krvi 5-7% pri sobnoj temperaturi ⁵⁸. Danas se pri mjerenju glikemijskog indeksa preporučuje spektrofotometrijsko mjerenje zbog upotrebe inhibitora glikolize i veće točnosti rezultata.

Glikemijski indeks miješanih obroka

Jedna od čestih kritika glikemijskog indeksa jest odstupanje u vrijednostima u miješanim obrocima zbog utjecaja masnoća i/ili proteina ¹³. No često takvi zaključci proizlaze iz pogrešnog načina računanja površine ispod krivulje (AUC), slabe statističke snage ili korištenja netočnih vrijednosti za glikemijski indeks ¹⁴. Tako se pokazalo da se glikemijski indeks miješanog obroka može predvidjeti pomoću glikemijskog indeksa namirnica bogatih ugljikohidratima u tome obroku ¹⁵. Autori studije iz 1986. godine koji su istraživali korištenje glikemijskog indeksa pri predviđanju glikemijskog odgovora u miješanim obrocima zaključili su da se koncept glikemijskog indeksa može dobro primijeniti čak i kod miješanih obroka koji sadržavaju masti i proteine ¹⁵. Iako i masti i proteini mogu utjecati na lučenje inzulina i gastričko pražnjenje, efekt na glikemijski indeks može se primijeti samo kod velikih količina masti i proteina u obroku (30 g proteina i 50 g masti za svakih 50 g ugljikohidrata) ¹⁶.

Inzulinski indeks

Inzulinski indeks predstavljen je 1997. godine, a njime se objašnjava postprandijalni porast inzulina u krvi (ovisno o sastavu namirnice) te se vrijednosti uspoređuju s glikemijskim indeksom. Svrha inzulinskog indeksa jest poticanje ljudi na biranje namirnica koje neće značajno potaknuti inzulinsku sekreciju ³⁹. No za razliku od glikemijskog indeksa, inzulinski indeks ovisi o mnogo više faktora, uz

koncentraciju glukoze u namirnici, poput sadržaj proteina, fruktoze, određenih masnih kiselina te koncentracije gastrointestinalnih hormona poput glukagona i kolecistokinina ^{40, 41}. Dakle, to bi značilo da bi hrana bogata proteinima i/ili mastima potaknula izlučivanje inzulina, dok bi njen glikemijski indeks bio nizak (zbog niske koncentracije glukoze). Također, pokazalo se da inzulinski indeks više varira ovisno o patofiziologiji ispitanika ⁴², pa se postavlja pitanje koliko bi financijski isplativo i praktično bilo mjeriti postprandijalnu razinu inzulina u rutinskom mjerenju glikemijskog indeksa. Ipak, inzulinska rezistencija pokazala se kao individualni pokazatelj mnogih bolesti poput šećerne bolesti tipa 2, hipertenzije, kardiovaskularnih bolesti, moždanog udara te raka ^{43, 44}, pa ako se glikemijski indeks ne mjeri u sklopu samo rutinskog određivanja, preporučuje se mjerenje i inzulinskog odgovora kako bi se dobila potpunija slika situacije ³.

In vitro metode za mjerenje glikemijskog indeksa

Iako smjernice FAO/WHO iz 1998. godine navode korištenje *in vivo* metode te bar 6 ispitanika ⁵, ISO standard (ISO 26642:2010) nalaže korištenje najmanje 10 ispitanika u studiji mjerenja glikemijskog indeksa ⁵⁶. to može biti skupo i dugotrajno, pa se danas nastoje razviti *in vitro* metode koje bi trebale biti brže i jeftinije. Već i danas postoje *in vitro* metode koje se temelje na određivanju brzine otpuštanja ugljikohidrata iz hrane, a njihova hipoteza je da brzina otpuštanja ugljikohidrata može služiti za predviđanje glikemijskog indeksa. Nastoje se simulirati uvjeti gastrointestinalnog sustava, brzina hidrolize ugljikohidrata i stupanj probave (kako bi se utvrdila cijela količina probavljivih ugljikohidrata) ²⁵. No *in vitro* metoda ima svoje nedostatke jer je vrlo teško simulirati sve utjecaje na apsorpciju ugljikohidrata, a time i glikemijski indeks (poput stope gastričkog pražnjenja, žvakanja ili ljudske prehrane prije mjerenja) ¹⁷. Upravo zbog tih različitih unutarnjih i vanjskih faktora koji variraju među ljudima poput pokretljivosti gastrointestinalnog sustava, probave i apsorpcije koji svi mogu utjecati na glikemijski indeks, a ne mogu se uvijek predvidjeti, standard mjerenja glikemijskog indeksa predstavlja *in vivo* metoda ²¹.

MATERIJALI I METODE

Određen je glikemijski indeks bezglutenskog kruha od heljde, prosa i bučine pogače, napravljenog prema recepturi za obogaćeni bezglutenski kruh razvijenoj u doktorskom radu Voučko B. (2018) ⁵².

Etičko povjerenstvo Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu izdalo je pozitivno mišljenje o etičnosti provedbe istraživanja. Protokol istraživanja bio je u skladu sa smjernicama iz preglednog rada Brouns i sur. (2005) ³. Određivanje glikemijskog indeksa provedeno je prema metodi ISO 26642:2010 ⁵⁷.

Ispitanici

Ispitanici su regrutirani na Prehrambeno-biotehnološkom fakultetu. U mjerenju glikemijskog indeksa sudjelovalo je 11 ispitanika, nepušača, indeksa tjelesne mase (ITM) od 18 do 25 kg/m². Desetero od njih bile su žene, a jedan je bio muškarac u dobi od 20 do 42 godine. Ispitanici su prije početka ispitivanja potpisali suglasnost o sudjelovanju u istraživanju, o razumijevanju načina provedbe eksperimenta te potvrdili da ne boluju od bolesti koje bi mogle utjecati na rezultate (poput šećerne bolesti). Prema uputama koje su im dane prije početka ispitivanja, nisu se bavili tjelovježbom večer prije te na dan ispitivanja. Prethodno danu ispitivanja, ispitanici su konzumirali svoju uobičajenu prehranu a posljednji obrok su pojeli 12 sati prije ispitivanja. Ispunili su kratke antropometrijske upitnike koji su uključivali tjelesnu masu, visinu, spol, lijekove koje uzimaju i dob. Iz tjelesne mase (kg) i visine (m²) izračunat je ITM (Tablica 1). Tijekom mjerenja postprandijalne razine glukoze u krvi, ispitanici nisu smjeli obavljati neke fizički zahtjevnije zadatke kako to ne bi utjecalo na rezultate.

Ispitivana namirnica

U ovom istraživanju određen je glikemijski indeks bezglutenskog kruha proizvedenog od heljde, prosa i bučine pogače. Kruh je napravljen prema recepturi za obogaćeni bezglutenski kruh razvijenoj u doktorskom radu Voučko B. (2018) ⁵². Iz deklaracije proizvoda ⁵² vidljivo je da 100 g tog kruha sadržava 31 g probavljivih ugljikohidrata. Obzirom na mali udio probavljivih ugljikohidrata u kruhu, određeno je da će se za ispitivanje koristiti 25 g probavljivih ugljikohidrata. Prema tome je određena veličina serviranja za pojedinog ispitanika, koja je iznosila 81 g kruha. Na tehničkoj vagi izvagano je 81 g kruha te je ispitanicima uz to posluženo 200 mL izvorske vode (Jana, Hrvatska). Ispitanici su ispitivanu namirnicu morali konzumirati unutar 5 do 10 minuta.

Referentna namirnica

Testiranje referentne namirnice provedeno je na dva različita dana kako bi se omogućila provjera odstupanja u postprandijalnoj koncentraciji glukoze u krvi kod svakog od ispitanika. Kao referentna namirnica korištena je glukoza (D-(+)-glukoza anhidrid, Sigma Aldrich) u prahu. Na tehničkoj vagi izvagano je 25 g glukoze te potom otopljeno u 200 mL izvorske vode (Jana, Hrvatska). Ispitanici su morali konzumirati otopinu glukoze unutar 5 do 10 minuta.

Uzimanje uzoraka krvi

Uzimanje uzoraka krvi provedeno je od strane medicinskih sestri. Uzeti su uzorci kapilarne krvi, iz vrha prsta. Prvi uzorak krvi uzet je prije te konzumacije ispitivanog uzorka kruha ili otopine glukoze, a zatim 15 minuta nakon konzumacije. Potom su izuzeti uzorci krvi još nakon 30, 60, 90 i 120 minuta od završetka konzumacije.

Izračun glikemijskog indeksa

Za izračun glikemijskog indeksa korištena je metoda IAUC (eng., Incremental Area Under the Curve). Ovom metodom računa se površina ispod krivulje postprandijalne glukoze u krvi, pritom ne uključujući vrijednosti koje su ispod razine glukoze natašte. Krivulja prikazuje porast glukoze u krvi nakon konzumirane hrane (ili ispitivane ili referentne) tijekom određenog perioda vremena. Ti periodi vremena su natašte, 15, 30, 45, 60, 90 i 120 minuta nakon konzumacije ili referentne hrane ili ispitivane hrane (u tom vremenu su ispitanicima uzeti uzorci krvi). Područje ispod krivulje (no iznad vrijednosti glukoze u krvi natašte) podijeljeno je na trokute i trapeze, njihova površina izračunata te zbrojena što predstavlja IAUC (Slika 3). Krivulja se radi za svakog ispitanika, posebno za otopinu glukoze i posebno za bezglutenski kruh. Zato što je dva puta mjeren glikemijski indeks glukoze, za svakog ispitanika izračunata je srednja vrijednosti postprandijalne glukoze u krvi nakon konzumacije otopine glukoze.

Glikemijski indeks je izračunat prema formuli:

$$GI = \frac{a}{b} \times 100$$

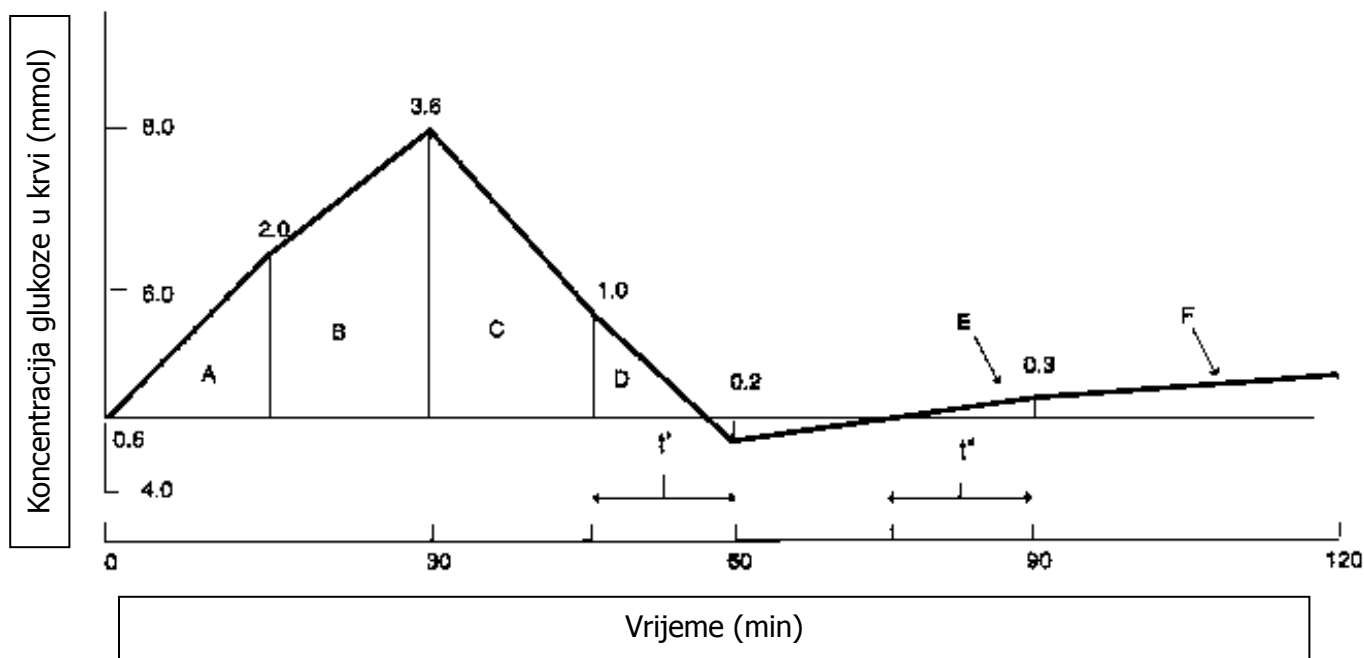
a= IAUC nakon konzumacije 81 g kruha koji sadržava 25 g probavljivih ugljikohidrata

b= srednja vrijednosti 2 vrijednosti IAUC nakon konzumacije otopine glukoze koje je sadržavala 25 g probavljivih ugljikohidrata

Time je dobiven glikemijski indeks kruha za svakog ispitanika te je za svaki iznos izračunata relativna standardna devijacija (Tablica 2). Izračunat je prosječan porast glukoze u krvi nakon konzumacije bezglutenskog kruha i glukoze za svih 11 ispitanika te su ti rezultati prikazani grafički (Slika 4). Zatim je određena srednja vrijednosti glikemijskog indeksa bezglutenskog kruha od svih ispitanika te je time dobivena prosječnu vrijednost glikemijskog indeksa testiranog kruha. Izračunato je i glikemijsko opterećenje za porciju od 81 g testiranog kruha (Tablica 3) prema jednadžbi:

$$GL = \frac{\text{glikemijski indeks} \times \text{količina probavljivih ugljikohidrata (g)}}{100}$$

Također, uspoređena je dobivena vrijednost glikemijskog opterećenja za testiranu porciju od 81 g kruha s vrijednosti glikemijskog opterećenja za preporučenu porciju od 45 grama kruha (tablica 3).



Slika 3. Određivanje inkrementalne površine ispod krivulje koristeći pravilo trapeza ⁵.

REZULTATI I RASPRAVA

U ispitivanju je korišten bezglutenski kruh napravljen od heljde, prosa i bučine pogače. Prikazan je vanjski izgled kruha (Slika 4) te sredina kruha (Slika 5). Iako je bezglutenski kruh često visokog glikemijskog indeksa, pomoću cjelovitih brašna uključenih u razvoj recepture ovog bezglutenskog kruha razvijen je proizvod koji potencijalno ima niži glikemijski indeks od sličnih prisutnih na tržištu. Kruh je proizveden upotrebom heljdinog brašna, a dodatak pseudožitarica može povećati nutritivnu vrijednost i smanjiti glikemijski indeks bezglutenskog kruha ^{51, 60}. Heljda predstavlja bogat izvor proteina, antioksidansa, mineralnih tvari, prehrambenih vlakana i rezistentnog škroba, funkcionalnog prehrambenog vlakna, koji može doprinijeti snižavanju glikemijskog indeksa bezglutenskog kruha ⁶². Osim toga, upotrebjeno je brašno bučine pogače koje ima potencijal sniziti glikemijski indeks na temelju svog kemijskog sastava odnosno visokog sadržaja proteina i prehrambenih vlakana. Također, korišteno je cjelovito proseno brašno, a proso je bezglutenska žitarica s visokim udjelom kalcija i željeza, koja dodatno obogaćuje nutritivni sastav kruha. Proso je bogat prehrambenim vlaknima, a sadrži veći udio energije, proteina, masti i vitamina od pšenice, kukuruza i sirka ⁶¹. Uz heljdu i bučinu pogaču, proso ima visoki sadržaj prehrambenih vlakana te potencijalno snižava glikemijski indeks hrane.

Tablica 1. prikazuje antropometrijske podatke 11 ispitanika koji su sudjelovali u istraživanju. Ispitanici su preko upitnika dali informacije o svojoj dobi, tjelesnoj masi i visini te je na temelju tih podataka izračunat BMI koji je služio kao kriterij za prihvaćanje ispitanika za sudjelovanje u ispitivanju glikemijskog indeksa. Broj ispitanika koje smo koristili u mjerenju glikemijskog indeksa je 11, u skladu sa ISO standardom 26642:2010 ⁵⁷ u kojem se navodi da je minimalno potreban broj ispitanika 10. Korišteni broj ispitanika je u skladu sa smjernicama FAO/WHO iz 1998. godine koje navode minimalan broj od 6 ispitanika za mjerenje glikemijskog indeksa ⁵. Devet ispitanika bile su žene, a 1 je bio muškarac. Njihovi indeksi tjelesne mase varirali su od 18 do 25 kg/m² što pripada kategoriji poželjnog indeksa tjelesne mase. Ukoliko bi BMI bio veći od 30, ispitanik ne bi bio uključen u istraživanje.

Svi ispitanici su bili nepušači.

U ISO standardu 26642:2010 napominju se stanja ili lijekovi koje ispitanici u mjerenju glikemijskog indeksa ne smiju imati odnosno uzimati, kojih smo se pridržavali ⁵⁷. Ispitanici nisu imali nikakve znane alergije ili intolerancije na hranu koje bi mogle utjecati na toleranciju glukoze. Nitko od ispitanika nije bolovao od šećerne bolesti ili bolesti koja utječe na probavu i apsorpciju nutrijenata niti je imao zahtjevu medicinsku ili kiruršku situaciju koja je zahtijevala liječenje u zadnjih 3 mjeseca. Također, nitko od ispitanika nije uzimao antihiperglikemike, inzulin, steroide, proteaza inhibitore ili antipsihotike ili lijekove koji bi utjecali na probavu i apsorpciju nutrijenata. ISO standard 26642:2010 navodi i da ispitanici ne

smiju konzumirati hranu ili pića (izuzev vode) 10 ili više sati prije mjerenja, konzumirati alkohol večer prije mjerenja te intenzivno vježbati ujutro prije ispitivanja ⁵⁷.



Slika 4. Vanjski izgled bezglutenskog kruha napravljenog od heljde, prosa i bučine pogače.



Slika 5. Sredina bezglutenskog kruha napravljenog od heljde, prosa i bučine pogače.

Tablica 1. Antropometrijski podaci ispitanika (n=10).

Broj ispitanika	Dob	Spol	Tjelesna masa (kg)	Visina (m)	BMI*
1	32	ž	77	1,81	24
2	23	ž	56	1,69	20
3	24	ž	72	1,78	23
4	30	ž	63	1,67	23
5	20	ž	52	1,63	20
6	28	ž	54	1,65	20
7	23	ž	56	1,64	21
8	24	m	78	1,78	25
9	42	ž	45	1,57	18
10	34	ž	71	1,71	24
11	24	ž	64	1,68	23

*BMI- indeks tjelesne mase (engl. *Body Mass Index*, BMI)

Kao referentnu namirnicu, ISO standard 26642:2010 dopušta korištenje glukoze anhidrida u prahu, glukoze monohidrata, komercijalne otopine korištene u oralnom testu tolerancije na glukozu, bijelog kruha ili neke druge hrane bogate ugljikohidratima koja ima konzistentan sadržaj i glikemijski indeks ⁵⁷. Smjernice FAO/WHO iz 1998. godine navode glukozu i bijeli kruh ⁵. Kako određena istraživanja upozoravaju na mogućnost pogreške pri korištenju bijelog kruha, zbog varijacija u kemijskom sastavu i načinu pripreme kruha, u našem radu korištena je glukoza anhidrid i to 25 g glukoze otopljene u 2 dL vode. Dok smjernice FAO/WHO iz 1998. godine dopuštaju mjerenje glikemijskog indeksa samo na porciji koja sadržava 50 g probavljivih ugljikohidrata ⁵, ISO standard 26642:2010 dozvoljava i korištenje porcije koja sadrži 25 g probavljivih ugljikohidrata ⁵⁷. To se obično koristi kada bi porcija testirane hrane koja sadrži 50 g probavljivih ugljikohidrata bila prevelika za konzumaciju u ograničenom vremenu (npr. hrana bogata vlaknima). Takav je slučaj bio i u ovom istraživanju budući da 100 g kruha sadrži 31 g probavljivih ugljikohidrata. Stoga je za ispitivanje korištena porcija od 81 g bezglutenskog kruha koja je sadržavala 25 g probavljivih ugljikohidrata, što je bilo moguće pojesti u zadanom vremenu.

U smjernicama FAO/WHO iz 1998. godine kao preporučeno piće koje se konzumira uz testiranu i referentnu namirnicu navodi se voda, čaj ili kava ⁵. ISO standard 26642:2010 kao konzumirano piće uz referentnu i testiranu namirnicu navodi vodu. Također, ISO standard 26642:2010 napominje da to može biti 1 ili 2 čaše pića (250-500 mL) ⁵⁷. U našem ispitivanju korišteno je 200 mL vode.

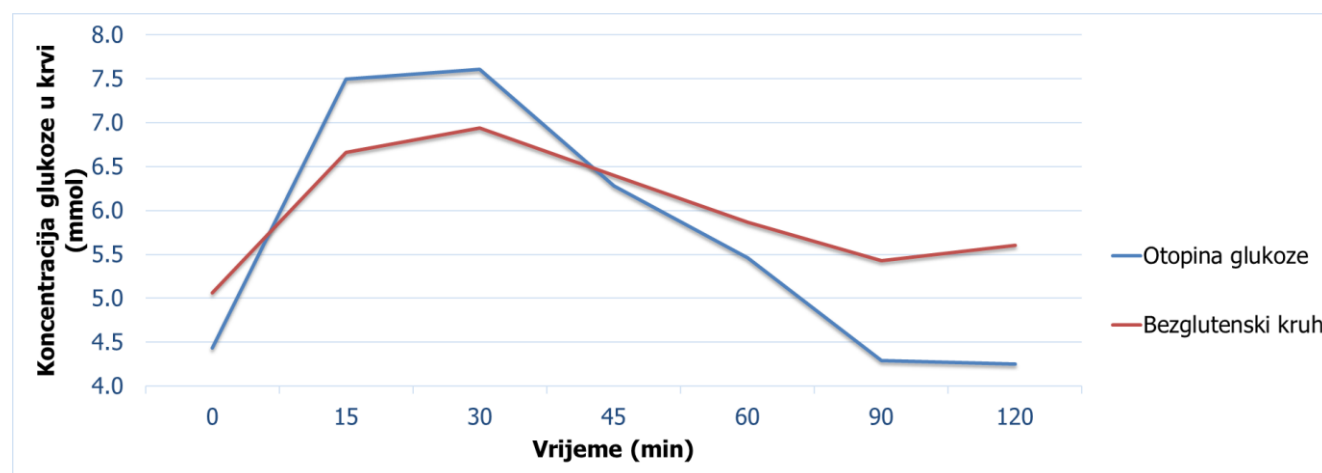
Iako se u smjernicama FAO/WHO iz 1998. godine preporučuje testiranje referentne namirnice najmanje 3 puta ⁵, ISO standard 26642:2010 dopušta testiranje referentne namirnice najmanje 2 puta ⁵⁷. U standardu se i napominje da se testiranje referentne namirnice treba provesti na istim ispitanicima, ne u jednom danu i unutar 3 mjeseca od početka testiranja, što smo u našem radu zadovoljili. U našem ispitivanju referentna namirnica testirana je 2 puta. Tablica 2 prikazuje RSD za ta dva mjerenja glukoze za svakog ispitanika pojedinačno. ISO standard 26642:2010 nalaže da se rezultati glikemijskog indeksa odbacuju ako relativna standardna devijacija prelazi vrijednost od 30. Relativne standardne devijacije rezultata glikemijskog indeksa ispitanika nisu bile veće od 30, stoga se rezultati nisu morali odbaciti.

Tablica 2. Rezultati glikemijskog indeksa ispitanika i pridružene relativne standardne varijacije

GI	RSD
74,1	11
89,7	9
84	10
50,3	27
77,5	4
62,4	28
63	10
64,4	4
89,6	6
55	1
41,2	4

U našem ispitivanju, uzorci krvi uzeti se natašte te nakon 15, 30, 60, 90 i 120 minuta od konzumacije ispitivane/referentne hrane, što nalažu i smjernice FAO/WHO iz 1998. godine i ISO standardu 26642:2010 ^{5,57}. Prema smjernicama FAO/WHO iz 1998. godine, mogu biti uzeti ili uzorci kapilarne ili uzorci venske krvi ⁵. Ipak, kapilarna krv se preferira (jednostavnija za uzimanje, manje varijacija u usporedbi s venskom) ⁵, stoga se u našem radu koristila kapilarna krv.

U smjernicama FAO/WHO iz 1998. godine, kao metoda izračuna glikemijskog indeksa navodi se IAUC, odnosno računanje površine ispod krivulje postprandijalne glukoze dok se pritom ne uključuju vrijednosti koje padaju ispod izmjerenih vrijednosti koncentracije glukoze u krvi natašte ⁵. Upravo je to korištena metoda pri izračunu glikemijskog indeksa.



Slika 6. Prosječan porast koncentracije glukoze u krvi (mmol) ovisno o vremenu (min) nakon konzumacije bezglutenskog kruha i otopine glukoze.

Na slici 6 možemo primijetiti kako je porast koncentracije glukoze u krvi nakon konzumacije bezglutenskog kruha sporiji u odnosu na porast koncentracije nakon konzumacije otopine glukoze u vodi, ne doseže koncentraciju iznad 7 mmol te se polagano spušta, ali ne pada ispod 5 mmol. Nakon 90 minuta od konzumacije bezglutenskog kruha, koncentracija glukoze u krvi ostaje oko 5,5 mmol. Nakon konzumacije otopine glukoze u vodi, koncentracija glukoze u krvi raste brzo i naglo te doseže i koncentracije više od 7,5 mmol. 30 minuta nakon konzumacije otopine glukoze u vodi, koncentracija glukoze u krvi počinje konstantno padati te nakon 90 minute nalazi se između 4,0 i 4,5 mmol. Zaključno, krivulja koncentracije glukoze u krvi nakon konzumacije otopine glukoze raste naglo i brzo, dostiže veće vrijednosti od krivulje koncentracije glukoze nakon konzumacije bezglutenskog kruha i zatim postepeno i konstantno pada do koncentracije glukoze ispod koncentracije natašte. Konzumacijom bezglutenskog kruha dolazi do sporijeg rasta koncentracije glukoze u krvi što dovodi do sporije sekrecije inzulina te ne dolazi do hipoglikemije. Takav je učinak poželjan. Konzumacijom otopine glukoze dosežu se visoke koncentracije glukoze u krvi te dolazi do veće sekrecije inzulina, što dugoročno može smanjiti osjetljivost na inzulin i rezultirati inzulinskom rezistencijom ³⁰. Također, postoji mogućnost hipoglikemije zbog pada koncentracije glukoze do relativno niskih vrijednosti ispod koncentracije glukoze natašte te hiperglikemije zbog visokih koncentracija glukoze u krvi nakon konzumacije otopine glukoze u vodi.

Tablica 3. Glikemijski indeks i glikemijsko opterećenje (srednja vrijednost \pm SEM) testiranog bezglutenskog kruha za serviranu porciju 81 g te za preporučeno serviranje 45 g

Glikemijski indeks	Glikemijsko opterećenje za 81 g kruha	Glikemijsko opterećenje za 45 g kruha
68 \pm 5	16,9 \pm 1,2	5,7 \pm 0,7

Iz tablice 3 vidimo da je glikemijski indeks kruha 68 što pripada kategoriji srednjeg glikemijskog indeksa. Glikemijsko opterećenje za serviranu porciju od 81 g iznosi 16,9 što pripada srednjoj kategoriji glikemijskog opterećenja. Za mjerenje smo koristili porciju od 81 g jer ona sadrži 25 g probavljivih ugljikohidrata, što je minimalna količina probavljivih ugljikohidrata koju zahtjeva ISO standard 26642:2010⁵⁷. Ipak, količina te porcije je prevelika za jedno serviranje. Zato smo izračunali glikemijsko opterećenje za realističnu veličinu porcije od 45 g i dobili vrijednost 5,74 što pripada niskoj kategoriji glikemijskog opterećenja. Dakle, glikemijsko opterećenje bezglutenskog kruha, za preporučeno serviranje od 45 g kada se uzme u obzir preporučeno serviranje kruha, pripada niskoj kategoriji. Upravo zbog uzimanja u obzir veličine porcije, glikemijsko se opterećenje smatra boljim pokazateljem porasta koncentracije glukoze u krvi od glikemijskog indeksa.

U tablici autora Foster-Powell iz 2002. analizirane su tri vrste bezglutenskog kruha²⁵. Referentna hrana predstavljala je ili bijeli kruh ili otopinu glukoze, a veličina serviranja bila je 30 g. Količina probavljivih ugljikohidrata po serviranju iznosila je u prvom i trećem kruhu 13 g, a u drugom 15 g. To je izrazito niska količina probavljivih ugljikohidrata za kruh, posebice za bezglutenski kruh. Možemo pretpostaviti da su analizirani kruhovi imali veliki udio proteina, odnosno da su bili proteinski kruhovi. Proteinski kruhovi često imaju promijenjena organoleptička svojstva u odnosu na uobičajene kruhove, što može biti nepoželjno potrošačima.

Glikemijski indeks bezglutenskog kruha iz Australije sa više cjelovitih žitarica iznosio je 79 \pm 13, bijelog bezglutenskog kruha iz Ujedinjenog Kraljevstva 76 \pm 5, a bezglutenskog kruha obogaćenog prehranbenim vlaknima iz Ujedinjenog Kraljevstva 73 \pm 4., prema podacima iz Foster-Powell tablice²⁵. Sve navedene vrijednosti pripadaju kategoriji visokog glikemijskog indeksa. Ipak, glikemijsko opterećenje po serviranju pripadalo je niskoj kategoriji za prvi i treći kruh (vrijednosti 10 i 9), a srednjoj kategoriji za drugi kruh (vrijednost 11). Usporedno, glikemijski indeks našeg bezglutenskog kruha

specijalne recepture pripada srednjoj kategoriji (68) dok glikemijsko opterećenje za porciju koja je korištena pri mjerenju glikemijskog indeksa (81 g) pripada srednjoj kategoriji (iznosi 16,9). No, glikemijsko opterećenje za preporučeno serviranje od 45 g pripada niskoj kategoriji (iznosi 5,74) što čini značajnu razliku u usporedbi sa glikemijskim opterećenjem za porciju od 81 g. Nisko glikemijsko opterećenje preporučene porcije bezglutenskog kruha proizlazi iz kemijskog sastava (značajna količina prehrambenih vlakana, visoku udio proteina i sl.) heljde, prosa i bučine pogače te njihovog doprinosa snižavanju glikemijskog indeksa.

ZAKLJUČCI

Korištenjem *in vivo* metode za određivanje glikemijskog indeksa u skladu sa ISO 26642:2010 ⁵⁷ i drugim smjernicama ³, dobiveni su rezultati na temelju kojih možemo zaključiti:

- ✓ Pregled literature pokazuje da ne postoji puno kruhova na tržištu koji odgovaraju osobama sa šećernom bolesti i celijakijom (niskog glikemijskog indeksa i bez glutena) te se potiče njihova proizvodnja.
- ✓ Pri mjerenju glikemijskog indeksa, u slučaju prevelike porcije za konzumaciju koja sadrži 50 g probavljivih ugljikohidrata, korištenje porcije koja sadrži 25 g ugljikohidrata može dati valjane rezultate.
- ✓ Glikemijski indeks bezglutenskog kruha napravljenog od heljde, prosa i bučine pogače je 68 te pripada srednjoj kategoriji.
- ✓ Glikemijsko opterećenje bezglutenskog kruha napravljenog od heljde, prosa i bučine pogače je 16,9 za porciju od 81 g te pripada srednjoj kategoriji.
- ✓ Glikemijsko opterećenje bezglutenskog kruha napravljenog od heljde, prosa i bučine pogače za preporučeno serviranje 45 g je 5,74 te pripada niskoj kategoriji.
- ✓ Korištenje heljde, prosa i bučine pogače u recepturi za proizvodnju bezglutenskog kruha rezultira kruhom umjerenog glikemijskog indeksa koji je prihvatljiv za oboljele od celijakije i šećerne bolesti.

POPIS LITERATURE

1. Otto H., Niklas L. (1980) The different actions on glycemia of foods containing carbohydrates: consequences for the nutritional treatment of diabetes mellitus. *Medicine and Hygiene* **38**: 3424 – 9.
2. Jenkins D. J., Wolever T. M., Taylor R. H., Barker H., Fielden H., Baldwin J. M., Bowling A. C., Newman H. C., Jenkins A. L., Goff D. V. (1981) Glycemic index of foods: A physiological basis for carbohydrate exchange. *The American Journal of Clinical Nutrition* **34**: 362 – 366.
3. Brouns F., Bjorck I., Frayn K. N., Gibbs A. L., Lang V., Slama G., Wolever T. M. (2005) Glycaemic index methodology. *Nutrition Research Reviews* **18**: 145 – 171.
4. Augustin L. S., Kendall C. W. C., Jenkins D. J. A., Willett W. C., Astrup A., Barclay A. W., Björck, I., Brand-Miller J. C., Brighenti F., Buyken A. E., Ceriello A., La Vecchia C., Livesey G., Liu S., Riccardi G., Rizkalla S. W., Sievenpiper J. L., Trichopoulou A., Wolever T. M. S., Baer-Sinnott S., Poli A. (2015) Glycemic index, glycemic load and glycemic response: An International Scientific Consensus Summit from the International Carbohydrate Quality Consortium (ICQC). *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* **25**: 795 – 815.
5. FAO (1998) Carbohydrates in Human Nutrition: Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. FAO – Food and Agriculture Organization, <<http://www.fao.org/home/en>> Pristupljeno 22. travnja, 2018.
6. Salmerón J., Manson J. E., Stampfer M. J., Colditz G. A., Wing A. L., Willett W. C. (1997) Dietary fiber, glycemic load, and risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women. *JAMA* **277**: 472 – 7.
7. Kirpich A. R., Maryniuk M. D. (2011) The 3 R's of Glycemic Index: Recommendations, Research, and the Real World. *Clinical Diabetes* **29**: 155 – 159.
8. Hu J., La Vecchia C., Augustin L. S., Negri E., de Groh M., Morrison H., Mery L. (2013) Glycemic index, glycemic load and cancer risk. *Annals of Oncology* **24**: 245 – 51.
9. Barclay A. W., Petocz P., McMillan-Price J., Flood V. M., Prvan T., Mitchell P., Brand-Miller J. C. (2008) Glycemic index, glycemic load, and chronic disease risk—a meta-analysis of observational studies. *The American Journal of Clinical Nutrition* **87**: 627 – 637.
10. Meyer K., Kushi L., Jacobs D., Slavin J., Sellers T., Folsom A. (2000) Carbohydrates, dietary fiber, and incident type 2 diabetes in older women. *The American Journal of Clinical Nutrition* **71**: 921 – 930.

11. George S. M., Mayne S. T., Leitzmann M. F., Park Y., Schatzkin A., Flood A., Hollenbeck A., Subar A. F. (2009) Dietary Glycemic Index, Glycemic Load, and Risk of Cancer: A Prospective Cohort Study. *American Journal of Epidemiology* **169**: 462 – 472.
12. Wolever T. M., Jenkins D. J., Jenkins A. L., Josse R. G. (1991) The glycemic index: Methodology and clinical implications. *The American Journal of Clinical Nutrition* **54**: 846 – 854.
13. Coulston A. M., Hollenbeck C. B., Reaven G. M. (1984) Utility of studies measuring glucose and insulin responses to various carbohydrate-containing foods. *The American Journal of Clinical Nutrition* **39**: 163 – 5.
14. Wolever T. M. (1997) The glycemic index: flogging a dead horse? *Diabetes Care* **20**: 452 – 6.
15. Wolever T. M. S., Jenkins D. J. A. (1986) The use of glycemic index in predicting the blood glucose response to mixed meals. *The American Journal of Clinical Nutrition* **43**: 167 – 72.
16. Wolever T. M. S., Katzman-Relle L., Jenkins A. L., Vuksan V., Josse R. G., Jenkins D. J. A. (1994) Glycemic index of 102 complex carbohydrate foods in patients with diabetes. *Nutrition Research* **14**: 651 – 69.
17. Gibson N. (2010) Development of rapid assessment method for the glycaemic index. Master's thesis. University of Pretoria.
18. Champ M., Langkilde A. M., Brouns F., Kettlitz B., Collet Yle B. (2003) Advances in dietary fibre characterisation. 1. Definition of dietary fibre, physiological relevance, health benefits and analytical aspects. *Nutrition Research Reviews* **16**: 71 – 82.
19. Marriott B. P., Olsho L., Hadden L., Connor P. (2010) Intake of added sugars and selected nutrients in the United States, National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2003-2006. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **50**: 228 – 58.
20. Borner F. R., Costagliola D., Rizkalla S. W., Blayo A., Fontvielle A. M., Haardt M. J., Letanoux M., Tchobrousky G., Slama G. (1987) Insulinaemic and glycaemic indexes of six starch-rich foods taken alone and in a mixed meal by type 2 diabetics. *The American Journal of Clinical Nutrition* **45**: 588 – 95.
21. Jenkins A. L., (2007) The Glycemic Index: Looking back 25 Years. *Cereal Food World* **52**: 50 – 53.
22. Feskens E. J., Du H. (2006) Dietary glycaemic index from an epidemiological point of view. *International Journal of Obesity (London)* **30**(Suplement 3): S66 – S71.
23. Campbell J. E., Glowczewski T., Wolever T. M. S. (2003) Controlling subjects prior diet and activities does not reduce within-subject variation of post-prandial glycaemic responses to foods. *Nutrition Research* **23**: 621 – 629.

24. Boulé N. G., Haddad E., Kenny G. P., Wells G. A., Sigal R. J. (2001) Effects of exercise on glycemic control and body mass in type 2 diabetes mellitus: a meta-analysis of controlled clinical trials. *JAMA* **286**: 1218 – 27.
25. Foster-Powell K., Holt S. H. A., Brand-Miller J. C. (2002) International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *The American Journal of Clinical Nutrition* **76**: 5 – 56.
26. Hales C. N., Randle P. J. (1963) Effects of low-carbohydrate diet and diabetes mellitus on plasma concentrations of glucose, nonesterified fatty acid, and insulin during oral glucose-tolerance tests. *The Lancet* **1**: 790 – 4.
27. Björck I., Elmstahl H. L. (2003) The glycaemic index: importance of dietary fibre and other food properties. *The Proceedings of the Nutrition Society* **62**: 201 – 6.
28. Shelmet J. J., Reichard G. A., Skutches C. L., Hoeldtke R. D., Owen O. E., Boden G. (1988) Ethanol causes acute inhibition of carbohydrate, fat, and protein oxidation and insulin resistance. *Journal of Clinical Investigations* **81**: 1137 – 1145.
29. Siler S. Q., Neese R. A., Christiansen M. P., Hellerstein M. K. (1998) The inhibition of gluconeogenesis following alcohol in humans. *American Journal of Physiology* **275**: E897 – E907.
30. Frost G, Dornhorst A. (2013) Glycemic Index. U: Encyclopedia of Human Nutrition, 2. izd., Caballero B., Allen L., Prentice A., ur, Elsevier Ltd. str. 393 - 398.
31. Attvall S., Fowelin J., Lager I., Von Schenck H., Smith U. (1993) Smoking induces insulin resistance – a potential link with the insulin resistance syndrome. *Journal of Internal Medicine* **233**: 327 – 332.
32. Frati A. C., Iniestra F., Ariza C. R. (1996) Acute effect of cigarette smoking on glucose tolerance and other cardiovascular risk factors. *Diabetes Care* **19**: 112 – 118.
33. Wolever T. M. S., Giddens J. L., Sievenpiper J. L. (2015) Effect of ethnicity on glycaemic index: a systematic review and meta-analysis. *Nutrition & Diabetes* **5**: e170.
34. Schwartz J. G., Philips W. T., Aghebat-Khalry B. (1990) Revision of the Oral Glucose Tolerance Test: A Pilot Study. *Clinical Chemistry* **36**: 125 – 128.
35. Wolever T. M. S., Mehling C. (2002) High-carbohydrate/low-glycaemic index dietary advice improves glucose disposition index in subjects with impaired glucose tolerance. *British Journal of Nutrition* **87**: 477 – 487.
36. Wolever T. M. S., Vorster H. H., Bjorck I., Brand-Miller J., Brighenti F., Mann J. I., Ramdath D. D., Granfeldt Y., Holt S., Perry T L., Venter C., Wu X. (2003) Determination of the glycaemic index of foods: interlaboratory study. *European Journal of Clinical Nutrition* **57**: 475 – 482.

37. Coppack S. W., Fisher R. M., Gibbons G. F., Humphreys S. M., McDonough M. J., Potts J. L., Frayn K. N. (1990) Postprandial substrate deposition in human forearm and adipose tissue in vivo. *Clinical Science* **79**: 339 – 348.
38. WHO (2010) WHO Guidelines on Drawing Blood: Best Practices in Phlebotomy. WHO – World Health Organization, <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138661/>> Pristupljeno 22. travnja 2018.
39. Jungheim K., Koschinsky T. (2002) Glucose monitoring at the arm: risky delays of hypoglycemia and hyperglycemia detection. *Diabetes Care* **25**: 956 – 960.
40. Wolever T. M. S (2004) Effect of blood sampling schedule and method calculating the area under the curve on validity and precision of glycaemic index values. *British Journal of Nutrition* **91**: 295 – 300.
41. Holt S. H. A., Brand Miller J. C., Petocz P. (1997) An insulin index of foods: the insulin demand generated by 1000-kJ portions of common foods. *American Journal of Clinical Nutrition* **66**: 1264 – 76.
42. Nuttall F. Q., Gannon M. C. (1991) Plasma glucose and insulin response to macronutrients in nondiabetic and NIDDM subjects. *Diabetes Care* **14**: 824 – 38.
43. Morgan L. (1992) Nutrient regulation of insulin secretion. *Biochemical Society Transactions* **18**: 101 – 102.
44. Wolever T. M. S, Campbell J. E., Geleva D., Anderson G. H. (2004) High-fiber cereal reduces postprandial insulin responses in hyperinsulinemic but not normoinsulinemic subjects. *Diabetes Care* **27**: 1281 – 1285.
45. Asp N. – G., Bryngelsson S. (2007) Health claims in the labelling and marketing of food products: the Swedish food sector's Code of Practice in a European perspective. *Scandinavian Journal of Nutrition* **51**: 107 – 126.
46. Glycemic Index Foundation (2016), < <https://www.gisymbol.com/> > Pristupljeno 4. svibnja 2018.
47. Manuel-y-Keenoy B., Perez-Gallardo L. (2012) Metabolic Impact of the Amount and Type of Dietary Carbohydrates on the Risk of Obesity and Diabetes. *The Open Nutrition Journal* **6**: 21 – 34.
48. Požgaj F., Metelko Ž. (2003) Celiac disease and diabetes mellitus. *Diabetologia Croatia* **32**: 157 – 162.
49. Rosén A., Sandström O., Carlsson A., Högborg L., Olén O., Stenlund H., Ivarsson A. (2014) Usefulness of symptoms to screen for celiac disease. *Pediatrics* **133**: 211 – 218.

50. AOECs (2015) Gluten Free Certification. AOECs – The Association of European Coeliac Societies, < <http://www.aoecs.org/> > Pristupljeno 6. svibnja 2018.
51. Koidis A. (2016) Developing food products for consumers on a gluten-free diet. U: Developing Food Products for Consumers with Specific Dietary Needs, 1. izd., Osborn S., Morley W., ur. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: Number 300, Elsevier Ltd. str. 201 – 211.
52. Voučko B. (2018) Primjena nusproizvoda prehrambene industrije i inovativnih tehnologija u razvoju pekarskih proizvoda za oboljele od celijakije i šećerne bolesti. Doktorska disertacija. Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb.
53. Antonić Degač K., Hrabak-Žerjavić V., Kaić-Rak A., Matasović D., Maver H., Mesaroš Kanjski E., Petrović Z., Reiner Ž., Strnad M., Šerman D. (2002) Prehrambene smjernice za odrasle. *Hrvatski zavod za javno zdravstvo, Akademija medicinskih znanosti Hrvatske, Centar za krizne situacije*.
54. Popis dijeta koje se primjenjuju za prehranu bolesnika u bolnicama (2015) *Narodne novine* **59** (NN 59/2015).
55. Brand-Miller J., Holt S., Pawlak D., McMillan J. (2002) Glycemic indeks and obesity. *American Journal of Clinical Nutrition* **76**: 281S – 285S.
56. Ludwig D.S. (2003) Dietary glycemic index and the regulation of body weight. *Lipids* **38**: 117 – 121.
57. ISO 26642:2010, Food products – Determination of the glycaemic index (GI) and recommendation for food classification.
58. Arabadjief D., Nichols J. H. (2006) Assessing glucose meter accuracy. *Current medical research and opinions* **22**: 2167 -2174.
59. Sun F., Wong S. H., Chen Y., Huang Y. (2010) Evaluation of a Glucose Meter in Determining the Glycemic Index of Chinese Traditional Foods. *Diabetes technology & therapeutics* **12**: 193 – 199.
60. Berti C., Riso P., Monti L. D., Porrini M. (2004) In vitro starch digestibility and in vivo glucose response of gluten-free foods and their gluten counterparts. *European Journal of Nutrition* **43**: 198 – 204.
61. Rathi A., Kawatra A., Schgal S., Housewright B. (2004) Influence of depigmentation of pearl millet on sensory attributes, nutrient composition and in vitro digestibility of biscuits. *LWT – Food Science and Technology* **37**: 187 –192.
62. Filipčev B., Šimurina O., Sakač M., Sedej I., Jovanov P., Pestorić M., Bodroža-Solarov M. (2011) Feasibility of use of buckwheat flour as an ingredient in ginger nut biscuit formulation. *Food Chemistry* **125**: 164 – 170.

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

Ime i prezime studenta